20712-0095

(19)日本国特許庁（ＪＰ）　(12)**公開特許公報**（Ａ）　(11)特許出願公開番号
特開2002－371989
（P2002－371989A）
(43)公開日　平成14年12月26日(2002.12.26)

(51)Int.Cl.[7]	識別記号	ＦＩ	ﾃｰﾏｺｰﾄﾞ(参考)
Ｆ０４Ｄ　27/02		Ｆ０４Ｄ　27/02	Ｄ　３Ｈ０２１

審査請求　未請求　請求項の数４　ＯＬ　（全９頁）

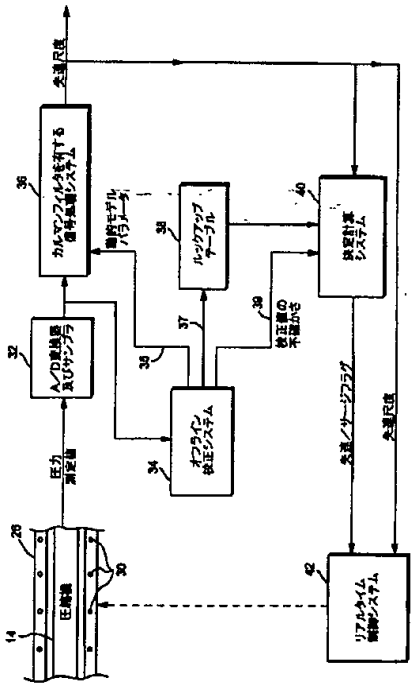
(21)出願番号　特願2002－112766(P2002－112766)
(22)出願日　平成14年４月16日(2002.4.16)
(31)優先権主張番号　０９／８３５８２６
(32)優先日　平成13年４月17日(2001.4.17)
(33)優先権主張国　米国（ＵＳ）

(71)出願人　390041542
ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
GENERAL ELECTRIC COMPANY
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタデイ、リバーロード、１番
(74)代理人　100093908
弁理士　松本　研一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　圧縮機の制御制御方法、および監視装置

(57)【要約】
【課題】　圧縮機の動作範囲全体を通して高い効率と同等の高いサイクル圧力比と十分なサージマージンの双方とを同時に達成する監視装置を提供する。
【解決手段】　圧縮機（１４）の動作状態の良否を監視する装置は、圧縮機（１４）に動作結合され、少なくとも１つの圧縮機パラメータを監視する少なくとも１つのセンサ（３０）と、失速前兆検出アルゴリズムを具現化し、少なくとも１つのセンサに動作結合され、失速前兆を計算するプロセッサシステム（３６、６０、７０、９０）とを有する。監視装置には、失速前兆を所定のベースラインデータと比較する比較器（４０）が設けられ、比較器に動作結合する制御装置（４２）が、失速前兆が所定のレベルの圧縮機動作能力を表すベースラインデータから外れた場合に、圧縮機のサージ及び失速を防止するために修正動作を開始する。



【特許請求の範囲】
【請求項1】 圧縮機（14）を先を見越した監視し且つ制御する方法において、
(a) 少なくとも1つの圧縮機パラメータを監視し、
(b) 監視されたパラメータを解析して、時系列データを獲得し、
(c) カルマンフィルタを使用して時系列データを処理して、失速前兆を判定し、
(d) 失速前兆を所定のベースライン値と比較して、圧縮機劣化を識別し、
(e) あらかじめ選択されたレベルの圧縮機動作能力を維持するために、修正動作を実行して圧縮機劣化を軽減し、
(f) 監視される圧縮機パラメータが所定の閾値内に入るまで、前記修正動作を実行する過程を繰り返す監視制御方法。
【請求項2】 圧縮機（14）の動作状態の良否を監視する監視装置において、
前記圧縮機に動作結合され、少なくとも1つの圧縮機パラメータを監視する少なくとも1つのセンサ（30）と、
カルマンフィルタを具現化し、前記少なくとも1つのセンサに動作結合され、失速前兆を計算するプロセッサシステム（36）と、
失速前兆を所定のベースラインデータと比較する比較器（40）と、
前記比較器に動作結合され、失速前兆が所定のレベルの圧縮機動作能力を表すベースラインデータから外れた場合に、圧縮機のサージ及び失速を防止するために修正動作を開始する制御装置（42）とを具備する監視装置。
【請求項3】 圧縮機（14）と、燃焼器（18）とを有する種類のガスタービンの監視方法において、
(a) 少なくとも1つの圧縮機パラメータを監視し、
(b) 監視されたパラメータを解析して、時系列データを獲得し、
(c) カルマンフィルタを使用して時系列データを処理して、失速前兆を判定し、
(d) 失速前兆を所定のベースライン値と比較して、圧縮機劣化を識別し、
(e) あらかじめ選択されたレベルの圧縮機動作能力を維持するために、修正動作を実行して圧縮機劣化を軽減し、
(f) 監視される圧縮機パラメータが所定の閾値内に入るまで、前記修正動作を実行する過程を繰り返すこととから成る圧縮機の動作状態の良否を監視する監視方法。
【請求項4】 圧縮機（14）の動作状態の良否を監視し且つ制御する装置において、
少なくとも1つの圧縮機パラメータを測定する手段（30）と、
失速尺度を計算する手段（36、60、70、90）と、
失速尺度を所定のベースライン値と比較する手段（40）と、
失速尺度が前記ベースライン値から外れた場合に修正動作を開始する手段（42）とを具備する装置。
【発明の詳細な説明】
【0001】
【発明の属する技術分野】本発明は、回転する機械的構成要素の動作状態の良否を監視するための非侵入型モニタリングに関する。特に、本発明は、回転失速及びサージの前兆を検出することにより圧縮機の動作状態の良否及び性能を先を見越した監視する方法及び装置に関する。
【0002】
【従来の技術】効率の良い発電機器を求める世界市場は1980年代半ば以来急速に広がってきており、この傾向はこの先も続いて行くと予想される。ガスタービンを利用するトッピングサイクルと、ランキンに基づくボトミングサイクルとから構成されるガスタービン組み合わせサイクル発電所は発電の分野においては顧客が好む選択肢であり続ける。これは、設備への投資が相対的に安く済むことと、ガスタービンを利用する組み合わせサイクルの動作効率が絶えず改善されていることとがあいまって、発電コストが最小限に抑えられるためであると考えられる。
【0003】発電に使用されるガスタービンの場合、機械効率を向上させるために圧縮機はより高い圧力比で動作できなければならない。ガスタービンの動作中、圧縮機失速として知られている現象が起こることがある。圧縮機失速とは、タービン圧縮機の圧力比が当初は所定の速度で何らかの臨界値を越え、その結果、後に圧縮機の圧力比が低下し、エンジン燃焼器へ送り出される空気流量が減少する現象である。圧縮機失速が発生する原因は、エンジンが余りに急速に加速されること、あるいはエンジンの正規動作中に空気圧力又は温度の入口プロファイルが不当に歪むことなど多様である。異物の混入又はエンジン制御システムの一部の誤動作に起因する圧縮機の損傷によっても、圧縮機の失速と、その後の圧縮機劣化が起こりうる。圧縮機失速が検出されないままに続いてしまうと、タービンの損傷を招くほどに圧縮機の温度が上昇し、圧縮機内で誘起される振動応力が増加する。
【0004】点火温度が上昇すると、組み合わせサイクルの効率と比出力が増加する可能性があることは良く知られている。更に、所定の点火温度に対して、組み合わせサイクル効率を最大にする最適サイクル圧力比が識別されることも知られている。この最適サイクル圧力比は理論上は点火温度の上昇と共に大きくなることがわかっている。従って、軸流圧縮機では圧力比のレベルを絶えず上げることが要求され、それと同時に部品数を最小に

し、操作を単純にし、且つ総費用を安く抑えることも目標になっている。更に、軸流圧縮機は総サイクル効率を増大させる圧縮効率で、高められたレベルのサイクル圧力比をもって動作することが期待されている。また、軸流圧縮機は、組み合わせサイクル動作の変動する動力出力特性と関連する質量流量の広い範囲にわたり空気力学的及び流体力学的に安定した性能を示すことが期待されている。

【０００５】本発明に至った一般的要件は、組み合わせサイクル効率が改善され且つ高い信頼性及び有用性を得るための証明済みの技術に基づく工業用ガスタービンを市場が必要としていることであった。

【０００６】１つの方法は、圧縮機を通る空気の流量及び圧力上昇を測定することにより圧縮機の動作状態の良否を監視する。圧力上昇の値の範囲は事前に選択され、その範囲を越えると圧縮機の動作は不良であるとみなし、機械を停止する。そのような圧力変化は、例えば、不安定な燃焼、圧縮機自体の回転失速事象及びサージ事象などのいくつかの原因によるものと考えられる。これらの事象を判定するために、圧縮機における圧力上昇の変化の大きさと速度を監視する。そのような事象が起こると、圧力上昇の大きさは急激に落ち込み、大きさとその変化の速度を監視するアルゴリズムがその事象を確認する。しかし、この事象は回転失速又はサージの予測特性を提供せず、先を見越してそのような事象を処理するための十分な先行時間をとってリアルタイム制御システムに情報を提供することができない。

【０００７】

【発明の概要】従って、本発明は、圧縮機の動作範囲全体を通して高い効率と同等の高いサイクル圧力比と、十分なサージマージンの双方が同時に要求されるという問題を解決する。すなわち、本発明は、カルマンフィルタにより生成される失速前兆を使用して、先を見越して圧縮機の動作状態の良否を監視し且つ制御するシステム及び方法を指向している。実施例においては、例えば、圧縮機を流れるガスの圧力及び速度、圧縮機ケーシングに加わる力及び振動などの動的圧縮機パラメータを測定するために、圧縮機の周囲に少なくとも１つのセンサを配置する。監視されたセンサデータはフィルタリングされ、保存される。センサによりあらかじめ指定された量のデータが収集され、デジタル化されたならば、動的モデルパラメータを獲得するために、監視データに対して時系列解析を実行する。

【０００８】カルマンフィルタは動的モデルパラメータを新たに監視されたセンサデータと組み合わせて、フィルタリング済み推定値を計算する。カルマンフィルタは、最新のデータサンプルに基づいて後続するデータサンプルのフィルタリング済み推定値を更新する。監視データとフィルタリング済み推定値との、「イノベーション」として知られている差を比較し、所定の回数の比較が実行されたときにイノベーションの標準偏差を計算する。標準偏差の大きさをベースライン圧縮機の既知の相関の標準偏差と比較し、その差を利用して、劣化圧縮機動作マップを推定する。これに対応する圧縮機動作能力尺度を計算し、設計目標と比較する。圧縮機の動作能力が不十分であると考えられる場合には、先を見越して起こりうる回転失速事象及びサージ事象を予測し、緩和するためにリアルタイム制御システムにより修正動作を開始し、それにより、要求されている圧縮機動作能力レベルを維持する。

【０００９】修正動作の中には、圧縮機を閾値に近いレベルで動作させるために、例えば、圧縮機可変羽根、入口空気熱、圧縮機抽気、燃焼器燃料混合等に対して調整を実行するなどの動作ライン制御パラメータを変化させることが含まれるであろう。修正動作は圧縮機サージ事象が発生する前に、動作ライン閾値と圧縮機サージ事象の発生との間で識別されるマージンの中で開始されるのが好ましい。それらの修正過程は、所望のレベルの圧縮機動作能力が実現されるまで繰り返される。

【００１０】カルマンフィルタは、一組の一次線形微分方程式として特徴づけられるシステム誤差の動的モデルを含む。すなわち、カルマンフィルタは、変数（状態変数）がそれぞれ対応する誤差の原因に対応するような方程式――それらの誤差の原因の相互間の動的関係を表現するような方程式を含む。誤差の相対的寄与を考慮に入れるため、重み付け係数を適用する。カルマンフィルタは新たな測定値を受信するにつれて、過去の測定値の全てを同時に考慮に入れながら絶えず状態変数の値を再評価し、それにより、それぞれの入力から帰納的に更新される一組の状態変数に基づいて１つ以上の選択されたパラメータの値を予測することができる。

【００１１】本発明の別の実施例では、失速尺度を計算するためにテンポラル高速フーリエ変換（ＦＦＴ）を使用する。

【００１２】本発明の更に別の実施例では、失速尺度を計算するために統計的プロセスという意味での相関積分技法を使用しても良い。

【００１３】本発明の更に別の実施例においては、２次ガウスーマルコフプロセスにより拡張された自己回帰（ＡＲ）モデルを使用して、失速尺度を推定する。

【００１４】１つの見方によれば、本発明は、先を見越して圧縮機を監視し且つ制御する方法であって、（ａ）少なくとも１つの圧縮機パラメータを監視することと、（ｂ）監視されたパラメータを解析して、時系列データを獲得することと、（ｃ）カルマンフィルタを使用して時系列データを処理して、失速前兆を判定することと、（ｄ）失速前兆を所定のベースライン値と比較して、圧縮機劣化を識別することと、（ｅ）あらかじめ選択されたレベルの圧縮機動作能力を維持するために、修正動作を実行して圧縮機劣化を軽減することと、（ｆ）監視さ

れる圧縮機パラメータが所定の閾値内に入るまで、前記修正動作を実行する過程を繰り返すこととから成る方法を提供する。この方法の過程（c）は、i)時系列データを処理して、動的モデルパラメータを計算することと、ii)動的モデルパラメータと圧縮機パラメータの新たな測定値をカルマンフィルタで組み合わせて、フィルタリング済み推定値を生成することと、iii）フィルタリング済み推定値と新たな測定値との差の標準偏差を計算し、失速前兆を生成することとを更に含む。修正動作は動作ラインパラメータを変更することにより開始されるのが好ましい。修正動作は圧縮機に対する負荷を減少させることを含む。動作ラインパラメータは閾値に近い値に設定されるのが好ましい。

【００１５】別の面においては、本発明は、圧縮機の動作状態の良否を監視する装置であって、圧縮機に動作結合され、少なくとも１つの圧縮機パラメータを監視する少なくとも１つのセンサと、カルマンフィルタを具現化し、前記少なくとも１つのセンサに動作結合され、失速前兆を計算するプロセッサシステムと、失速前兆を所定のベースラインデータと比較する比較器と、比較器に動作結合され、失速前兆が所定のレベルの圧縮機動作能力を表すベースラインデータから外れた場合に、圧縮機のサージ及び失速を防止するために修正動作を開始する制御装置とを具備する装置を提供する。装置は、少なくとも１つのセンサに動作結合し、少なくとも１つのセンサからの入力データをサンプリングし且つデジタル化するアナログ／デジタル（Ａ／Ｄ）変換器と、Ａ／Ｄ変換器に結合し、監視されるパラメータに対して時系列解析（t, x）を実行して、動的モデルパラメータを計算する構成システムと、対応する失速尺度データを含む既知の複数組の圧縮機データを格納するメモリを有するルックアップテーブル（ＬＵＴ）とを更に具備する。

【００１６】更に別の面においては、本発明は、圧縮機と、燃焼器とを有する種類のガスタービンを提供し、圧縮機の動作状態の良否を監視する方法は本発明の様々な実施例に従って実行される。

【００１７】更に別の面においては、本発明は、圧縮機の動作状態の良否を監視し且つ制御する装置であって、少なくとも１つの圧縮機パラメータを測定する手段と、失速尺度を計算する手段と、失速尺度を所定のベースライン値と比較する手段と、失速尺度が前記ベースライン値から外れた場合に修正動作を開始する手段とを具備する装置を提供する。一実施例では、失速尺度を計算する手段はカルマンフィルタを具現化している。別の実施例においては、失速尺度を計算する手段は高速フーリエ変換（ＦＦＴ）アルゴリズムを具現化している。更に別の実施例では、失速尺度を計算する手段は相関積分アルゴリズムである。

【００１８】更に別の実施例においては、本発明は、少なくとも１つの圧縮機パラメータを測定する手段と、失速尺度を計算する手段と、失速尺度を所定のベースライン値と比較する手段と、失速尺度が前記ベースライン値から外れた場合に修正動作を開始する手段とを設けることにより、圧縮機の動作状態の良否を監視し且つ制御する方法を提供する。

【００１９】更に別の実施例においては、本発明は、圧縮機の動作状態の良否を監視する装置であって、圧縮機に動作結合され、少なくとも１つの圧縮機パラメータを監視する少なくとも１つのセンサと、カルマンフィルタを具現化し、少なくとも１つのセンサに動作結合され、失速前兆を計算するプロセッサシステムと、失速前兆を所定のベースラインデータと比較する比較器と、比較器に動作結合され、失速前兆が所定のレベルの圧縮機動作能力を表すベースラインデータから外れた場合に、圧縮機のサージ及び失速を防止するために修正動作を開始する制御装置とを具備する装置を提供する。一実施例では、失速前兆検出アルゴリズムはカルマンフィルタである。別の実施例においては、失速前兆検出アルゴリズムはテンポラル高速フーリエ変換である。更に別の実施例においては、失速前兆検出アルゴリズムは相関積分である。別の実施例では、失速前兆検出アルゴリズムは、２次ガウスーマルコフプロセスにより拡張された自己回帰（ＡＲ）モデルを含む。

【００２０】更に別の面では、本発明は、圧縮機における回転失速及びサージの前兆を検出する方法であって、圧縮機を流れるガスの圧力及び速度を測定することと、オフライン校正計算と組み合わせてカルマンフィルタを使用して、回転失速及びサージの将来の前兆を予測することとから成り、カルマンフィルタは誤差の定義及びそれらの誤差の時間の経過に伴う確率的行動と、誤差と、測定される圧力値及び速度値との関係と、誤差が回転失速及びサージの前兆の予測にどのような影響を及ぼすかということを利用する。

【００２１】本発明の利点は、単に本発明を実施する最良の態様であると考えられる構成の実例として本発明の好ましい実施例のみを図示し且つ説明する以下の詳細な説明から当業者には明白になるであろう。

【００２２】

【発明の実施の形態】そこで図１を参照すると、図中符号１０で指示されるガスタービンエンジンは圧縮機１４を有するハウジング１２を具備する。圧縮機１４は軸流形の圧縮機であっても良く、ハウジング内部にその前端部に隣接して配置されている。圧縮機１４は環状の空気入口１６を通して空気を受け入れ、圧縮空気を燃焼室１８へ送り出す。燃焼室１８内部で空気は燃料と共に燃焼し、その結果発生する燃焼ガスはノズル又は案内羽根構造２０によりタービンロータ２４のロータブレード２２へ誘導されて、ロータを駆動する。シャフト１３はタービンロータ２４を圧縮機１４と駆動自在に結合する。タービンブレード２２から出た排気ガスは排気ダクト１９

を通り周囲の大気中に向かって後方へ排出される。

【００２３】次に図２を参照すると、本発明の一実施例がブロック線図の形で概略的に示されている。この実施例では、圧縮機の１つの段しか示されていないが、実際には、圧縮機はそのような段をいくつか含んでいる場合もある。この場合、例えば、圧力、圧縮機１４を通って流れるガスの速度、圧縮機１４のケーシング２６に加わる力、振動などの動的圧縮機パラメータを測定するために、圧縮機ケーシング２６の周囲に複数のセンサ３０が配置されている。動圧は本発明を詳細に説明する上で１つのパラメータの例であると考えられる。圧縮機１４の動作状態の良否を評価するために、上記のような他の圧縮機パラメータを監視しても良いことは理解されるであろう。センサ３０からの圧力データはA／D変換器３２でデジタル化され、サンプリングされる。A／D変換器３２からのデジタル化信号はカルマンフィルタ３６及びオフライン校正システム３４で受信される。圧縮機１４の正規の動作中に所定量のデータが収集されると、校正システム３４は時間の経過に伴うセンサドリフトを補正しつつそれらのデータの時系列解析を実行して、動的モデルパラメータを生成する。動的モデルパラメータはカルマンフィルタ３６で受信され、カルマンフィルタ３６はそれらの動的モデルパラメータと、A／D変換器３２によりデジタル化された新たな圧力データとを組み合わせて、フィルタリング済み評価値を生成する。測定データとフィルタリング済み評価値との差（以下、「イノベーション」という）を更に処理して、失速の前兆を識別する。

【００２４】失速尺度値を速度（rpm）、入口案内羽根の角度（ＩＧＶ）及び圧縮機段の関数としてルックアップテーブル（ＬＵＴ）３８を構成し且つ記入する。ＬＵＴ３８に記入された値は、失速の前兆を判定するためにオフライン校正システム３４により処理された測定センサデータと比較される既知の値である。すなわち、ＬＵＴ３８は圧縮機１４の失速尺度があると想定される状態を識別するのである。所定数のイノベーションを収集するときに、「イノベーション」の標準偏差を計算する。「イノベーション」の標準偏差の大きさを決定計算システム４０においてベースライン圧縮機の既知の相関値と比較する。決定計算システム４０は、カルマンフィルタ３６からの失速尺度が決定計算システム４０で受信されたベースライン値から外れた場合にそれを識別する。圧縮機１４の動作状態の良否を識別するために、失速又はサージの有無は「１／０」により指示される。しかし、カルマンフィルタ３６により計算される失速尺度は、失速又はサージが識別された場合に制御システム４２にそれを緩和する動作を開始させるために絶えず変動している信号である。この緩和動作は、圧縮機１４の動作ラインパラメータを変化させることにより開始されても良い。イノベーションの標準偏差の大きさは、圧縮機動作が不良であると考えられる場合にその危険を軽減するために制御システム４２が適切な動作を実行するのに十分なリードタイムをもって制御システム４２に情報を提供する。

【００２５】既存の伝達関数を介する測定前兆値とベースライン失速尺度との差を使用して、劣化圧縮機動作マップ及びそれに対応する圧縮機の動作能力尺度を推定する。すなわち、動作停止マージンを計算し、それを設計目標と比較する。関心ある圧縮機の動作能力が十分であるか否かをそこで判断する。圧縮機の動作能力が不十分であると考えられれば、能動制御を実行する必要が生じ、制御システム４２へ圧縮機１４を能動的に制御するようにとの命令が送信される。

【００２６】次に図３を参照すると、図中符号３６で指示されるカルマンフィルタの概略図が示されている。この場合、A／D変換器３２からのサンプリング済み圧力データは図中符号４４で指示されるプラントの動的状態モデルに供給される。動的状態モデル４４は測定圧力データからデータ（例えば、この実施例では失速前兆データ）を推論するために使用される。動的状態モデル４４の出力信号は測定モデル４６で受信され、測定モデル４６は信号をセンサ３０（図２）からのオフセット雑音に対して校正する。カルマンフィルタ３６からのフィルタリング済み推定値がセンサ測定値の範囲内に確実におさまるように、測定モデル４６の校正済み出力信号は図中符号５０で指示されるカルマン利得を監視するために供給される。比較器４８の出力信号は、失速尺度を示す標準偏差を計算する装置５６でも受信される。失速尺度は決定計算装置４０及び制御システム４２（図２）に供給される。

【００２７】測定圧力データとベースライン圧縮機値との比較は、圧縮機の動作能力を指示する。この圧縮機動作能力データは、圧縮機サージを防止するように制御システムの所望の修正動作を開始させることにより、失速に近い動作を回避するために追加マージンが必要とされていた場合と比べてより高い効率で圧縮機を動作させるために使用されても良い。圧縮機のサージを防止し且つ失速に近い動作を回避するためにオペレータが手操作で修正動作を開始できるように、図４に示すように、失速前兆信号は表示装置４５又はその他の表示手段にも提供されて良い。

【００２８】次に図４を参照すると、別の実施例が示されている。この実施例において図２の概略図と共通する要素は同じような図中符号で指示されているが、符号の前に「１」が追加されている。この実施例では、失速尺度を計算するために、テンポラル高速フーリエ変換（ＦＦＴ）アルゴリズム６０を有する信号処理システムを使用する。圧縮機の周囲に配置された複数のセンサにより、時間の関数として圧縮機データを測定する。測定データに対してＦＦＴを実行し、特定の頻度で大きさの変

化を識別し、それをベースライン圧縮機値と比較して、圧縮機の動作状態の良否を判定すると共に、所定のレベルの圧縮機動作能力を維持するために制御システム１４２による軽減動作を開始させる。

【００２９】図５に示す更に別の実施例では、失速尺度を計算するために、統計的プロセスという意味での相関積分技法を有する信号処理システム７０を使用する。この実施例の場合にも、図２の概略図と共通する要素については、同じような図中符号の前に数字「２」を追加して指示している。動作状態の良い圧縮機の相関積分の長期間統計的特性を取り出し、それを利用して制御下限を求める。相関積分は連続して計算されるため、サーボループごとに積分の大きさを制御下限と比較する。相関積分を制御下限と比較したときに相関積分が統計的プロセス制御のいずれかの規則に違反した場合、関心ある圧縮機の動作状態は不良であると考えられる。相関積分は、次の等式により計算される。

【００３０】

【数１】

$$C(r)=\sum_{i,j=1}^{N}\frac{\text{Θ}(\|X_i-X_j\|-r)}{N^2}$$

【００３１】式中、x_iは瞬時iにおける信号xであり、Nはサンプルの総数であり、rは近傍の半径であり、Cは相関積分である。

【００３２】図６に示す更に別の実施例では、２次ガウスーマルコフプロセスにより拡張された自己回帰（ＡＲ）モデルを有する信号処理システム９０を使用して失速尺度を判定する。この場合にも、図２の概略図と共通する要素については、同じような図中符号の前に数字「３」を追加して指示している。ＡＲモデルは、オフライン計算装置３４（図２）によりオフライン時系列解析から構成できる状態変数の形態で示されている。ＡＲガウスーマルコフモデルは次の等式に従う。

【００３３】

$x(n+1)=Ax(n)+Gw(n)$　　（１）

$y(n)=Cx(n)+Hw(n)+v(n)$　　（２）

【００３４】等式（１）は圧縮機１４の動的状態と、プラントモデル４４と、測定モデル４６との関係を示し、式中、xは動的状態を表し、「A」はプラントモデルを表し、「G」は測定モデルを表し、「w」は雑音ベクトルを表す。等式（２）は、圧縮機１４の出力（y）と、プロセスモデル「C」と、出力に対する雑音「v」の影響との関係を示し、「H」は出力に対するセンサ雑音の影響を示す。

【００３５】次に図７を参照すると、Ｙ軸上に圧力比を示し、Ｘ軸上に空気流量を示すグラフが示されている。先に述べた通り、ガスタービンエンジンを加速すると、その結果、圧縮機の圧力比が当初は何らかの臨界値（サージライン９４）を越え、その後、圧縮機圧力比と、燃焼器へ送り出される空気の流量が急激に減少するという圧縮機失速又はサージが起こると考えられる。そのような状態が検出されず、継続したままであると、燃焼器の温度と、圧縮機内で誘起される振動応力がガスタービンに対する損傷を引き起こすほどに高くなってしまう。従って、圧縮機失速の始まり又は前兆を検出するのに応答して修正動作を開始することにより、先に確認したような問題の発生を防止できるであろう。図中９２で指示されるラインは圧縮機１４が動作している動作ラインを表す。圧縮機１４に流入する空気の流量が増すにつれて、圧縮機が動作するときの圧力比は増加する。マージン９６は、ガスタービンエンジン１０がグラフに示すような動作ライン９２により設定される値を越えて動作するようになると、圧縮機失速の始まりを指示する信号が発生されることを表している。圧縮機１４の圧縮機サージ及び失速に近い動作を回避するためには、リアルタイム制御システム４２による修正措置をマージン９６内で開始しなければならない。

【００３６】本発明を現時点で最も実用的であり且つ好ましい実施例であると考えられる構成に関連して説明したが、本発明は開示された実施例には限定されず、特許請求の範囲の趣旨の範囲内に含まれる様々な変形及び等価の構成を包含するものであることは理解されるであろう。なお、特許請求の範囲に記載された符号は、理解容易のためであってなんら発明の技術的範囲を実施例に限縮するものではない。

【図面の簡単な説明】

【図１】　典型的なガスタービンエンジンの概略図。

【図２】　圧縮機制御動作及びカルマンフィルタを使用する回転失速及びサージの前兆の検出を示す概略図。

【図３】　図２に示すようなカルマンフィルタを詳細に示す図。

【図４】　失速尺度を計算するためにテンポラルＦＦＴを使用する本発明の別の実施例を示す図。

【図５】　失速尺度を計算するために相関積分アルゴリズムを使用する本発明の別の実施例を示す図。

【図６】　失速尺度を評価するために２次ガウスーマルコフプロセスにより拡張された自己回帰モデルを使用する本発明の別の実施例を示す図。

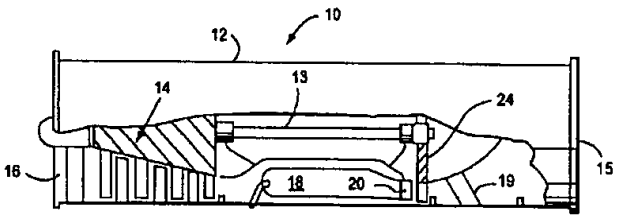
【図７】　図１に示すような圧縮機段に関して圧力比をＹ軸上に示し、空気流量をＸ軸上に示すグラフ。

【符号の説明】

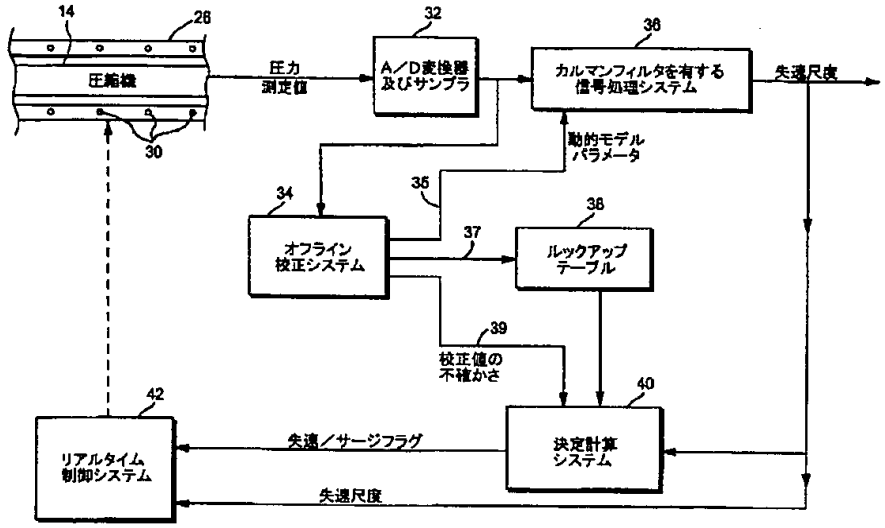
１０…ガスタービンエンジン、１４…圧縮機、１８…燃焼室、３０…センサ、３２…Ａ／Ｄ変換器、３４…オフライン校正システム３６…カルマンフィルタを有する信号処理システム、３８…ルックアップテーブル、４０…決定計算システム、４２…制御システム、６０…テンポラル高速フーリエ変換（ＦＦＴ）アルゴリズムを有する信号処理システム、８０…相関積分技法を有する信号処理システム、９０…自己回帰（ＡＲ）モデルを有する信

号処理システム

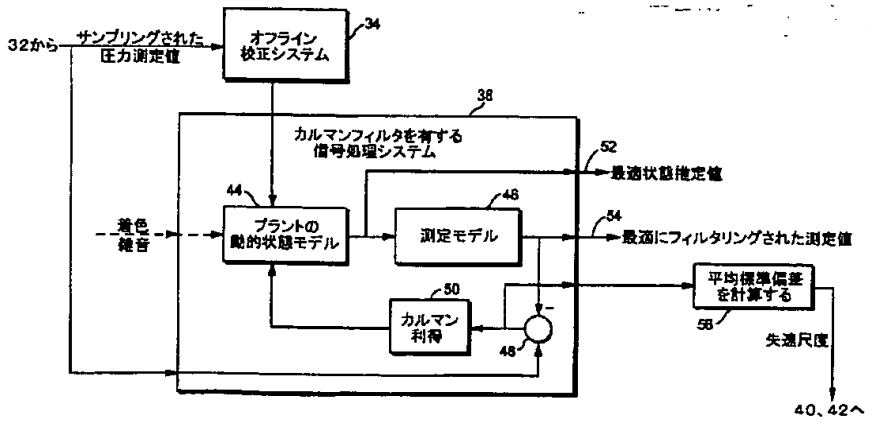
【図１】



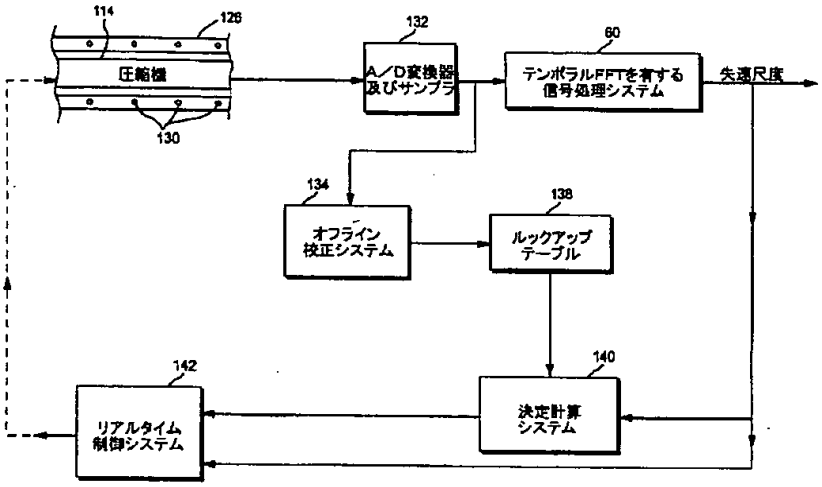
【図２】



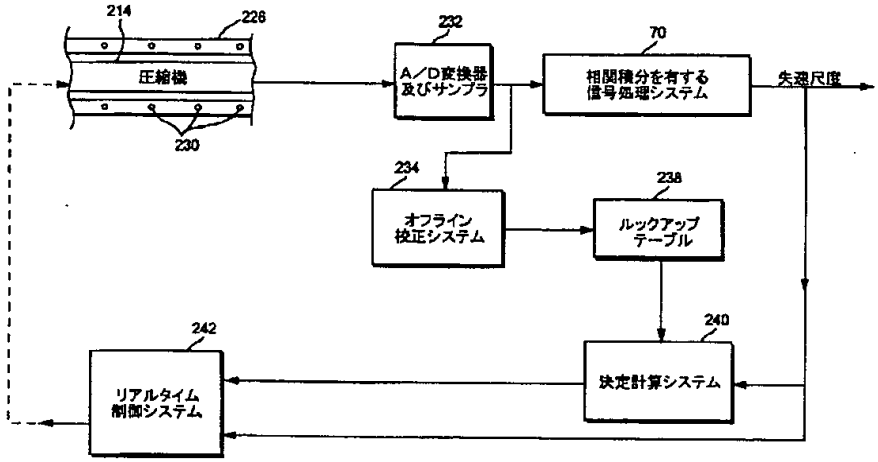
【図３】



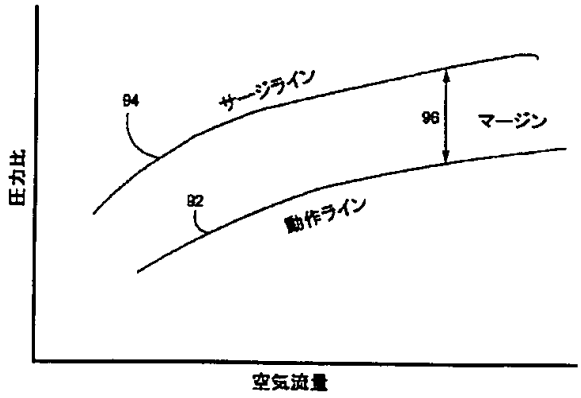
【図4】


114
126
圧縮機
130
132
A/D変換器及びサンプラ
60
テンポラルFFTを有する信号処理システム
失速尺度
134
オフライン校正システム
138
ルックアップテーブル
140
決定計算システム
142
リアルタイム制御システム

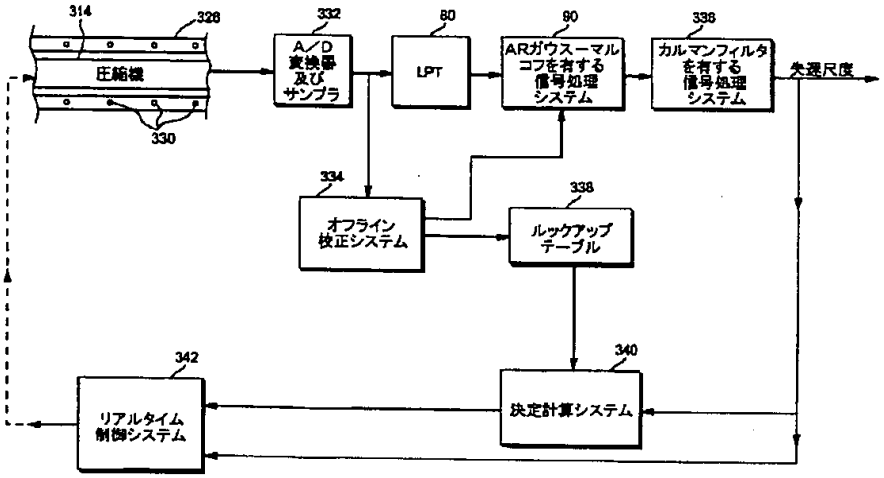
【図5】


214
228
圧縮機
230
232
A/D変換器及びサンプラ
70
相関積分を有する信号処理システム
失速尺度
234
オフライン校正システム
238
ルックアップテーブル
240
決定計算システム
242
リアルタイム制御システム

【図7】


圧力比
94
サージライン
96
マージン
92
動作ライン
空気流量

【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 サンジェイ・バラドワイ
インド、560075、カラナタカ、バンガロール、ホワイトフィールド・ロード、フーディー・ビレッジ、フェーズ・2、エクスポート・プロモーション・インダストリアル・パーク、サイ・ナンバー152番
(72)発明者 ナラヤナン・ベンカテスワラン
インド、560075、カラナタカ、バンガロール、ニュー・チッパサンドラ、チャーチ・ロード、421番
(72)発明者 チャンーヘイ・（シモン）・ヤン
アメリカ合衆国、インディアナ州、エバンスビル、キー・ウエスト・ドライブ、335番
(72)発明者 スティーブン・マーク・シャール
アメリカ合衆国、サウス・カロライナ州、アンダーソン、ターンベリー・ロード、111番
(72)発明者 ジョナラガッダ・ベンカタ・ラマ・プラサド
アメリカ合衆国、ジョージア州、ロズウェル、マグノリア・ウォーク、6025番
Fターム(参考) 3H021 AA02 BA25 CA01 DA00 DA17